干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

1973—2015年努尔苏丹气温变化与城市热岛效应

艾柯代·艾斯凯尔[1,2]， Talgat ABZHANOV[3]， 王永东[1]， 赵永成[1]， 雷加强[1]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所，新疆 乌鲁木齐 830011； 2. 中国科学院大学，北京 100049；
3. 哈萨克斯坦赛福林农业技术大学，努尔苏丹 010000）

摘 要：基于1973—2015年努尔苏丹市和阿科尔镇逐日气温数据，以及努尔苏丹2000—2015年城市发展数据，采用回归分析、七点二次平滑、Mann-Kendall突变检验、滑动*T*检验等分析方法研究了该区域气温和城市热岛强度的变化特征及成因。结果表明：(1) 在同期北半球和中亚地区气温显著增长的大背景下，努尔苏丹年平均气温并无显著变化，气温受全球变化的影响主要表现在气温的两极化加剧上；(2) 受冬季热岛强度减弱的影响，努尔苏丹年平均热岛强度呈现显著减弱趋势，而冬季热岛强度的减弱主要受对比站冬季气温变化影响，其次与努尔苏丹城市发展也有一定的关联。

关 键 词： 干旱区；气温变化趋势；热岛强度；冷岛效应；努尔苏丹

文章编号：

近100 a是人类历史上工业化进程最为迅速的时代，也是人类发展史上最暖的100 a[1-2]。研究表明，人类活动是气候变暖最主要的原因之一[3]。在气候变化背景下，全球的气候系统正在发生着巨大变化，全球变暖导致更剧烈、更频繁的极端天气事件[4]。气候变化具有局地性，局地气候变化是气候变动在区域或城市尺度上的反应，与城市化密切相关，而热岛效应是城市化对城市气温最显著的效应之一[5-6]。城市化建设加剧了区域气温和城市热岛效应的时空异质性，增加了区域应对极端气候变化的不确定性，使区域气候的年代际变化规律及成因成为全球变化的热点研究领域。

干旱区是对气候变化和人类活动最敏感的地区之一[7]，而哈萨克斯坦干旱区面积广其首都努尔苏丹地处中亚干旱-半干旱气候带[7-9]。1997年成为首都后，努尔苏丹飞速发展，由人口不到3万的小城镇，成为如今人口超百万的城市，发展速度位居哈萨克斯坦乃至中亚地区首位[10-11]，努尔苏丹城市化发展对区域气候变化的影响，可作为探索城市化对干旱区城市气候变化的典型案例来研究。但已有的相关研究大部分是把中亚或者哈萨克斯坦作为一个研究整体，研究其气候变化或国家发展状况[10,12-15]，再或者探究哈萨克斯坦前首都阿拉木图的气候变化规律[16]，对努尔苏丹气温变化和城市热岛鲜有研究。因此，本文基于努尔苏丹逐日气温数据以及相关的城市发展数据，阐明努尔苏丹近43 a来的气温和城市热岛强度的变化规律，并探讨其可能的影响因素。研究结果可为努尔苏丹未来的城市建设和制定适应气候变化策略提供科学依据。

1 研究区概况

努尔苏丹(51.00°~51.30°N，71.22°~71.74°E)是哈萨克斯坦首都，建于1980年[17]，原名阿克莫拉、阿斯塔纳。努尔苏丹位于广阔的哈萨克大草原，平均海拔347 m，年平均气温3 ℃，多年平均降水量290 mm，属于典型的温带大陆性气候区，冬季寒冷漫长，多暴风雪，夏季短热潮湿，被认为是世界上最冷的首都之一[18]。1997年成为哈萨克斯坦首都后，努尔苏丹飞速发展，人口从1998年的27.6×10⁴到2015年的83.3×10⁴，主城区面积从1992年的70.2 km²

收稿日期：2020-05-10； **修订日期：**2020-08-09

基金项目：科技部科技伙伴计划(KY201502003)；中国科学院战略性先导科技专项(XDA20030102)资助

作者简介：艾柯代·艾斯凯尔(1994-)，女，硕士研究生，主要从事荒漠化防治和生态系统服务功能评估相关研究. E-mail: ak1da_0_0@163.com

通讯作者：王永东(1978-)，男，主要从事荒漠化防治与生态建设研究. E-mail: wangyd@ms.xjb.ac.cn

到2016年的185.9 km²,如今已经成为哈萨克斯坦第二大城市,仅次于前首都阿拉木图[18]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文主要采用气象数据和城市发展数据(城市常住人口总数、燃料和能源使用量、机动车维修服务销售量等)。其中,气象数据经过质量筛选,采用努尔苏丹历史最久远且数据保存最完整的努尔苏丹气象站和热岛效应对比站阿科尔气象站1973—2015年的逐日气温数据,该数据来源于美国国家海洋和大气管理局(https://www.climate.gov)的全球气象站点资料,数据缺失率低于5%,对缺测日数据做了线性插补,保证了数据的精度和质量。经整理计算,获得月、季和年际尺度的温度数据以及气温日较差。北半球和中亚的气温数据采用东英吉利大学气候研究中心(http://disc.sci.gsfc.nasa.gov)提供的1973年1月至2015年12月的全球逐月气温数据集,分辨率为0.5°×0.5°,该数据集在中亚地区的适用性已经过检验[19]。城市发展数据来源于哈萨克斯坦国家经济部统计委员会(https://taldau.stat.gov.kz)。

2.2 对比站选取

一般为了探究城市化对城市气候的影响作用,会选择与城市距离较近,自然条件相似,不受城市化影响或影响较小的郊区站点作对比分析[20]。本文选取距离努尔苏丹市最近(98.5 km)、数据最完整、与努尔苏丹经纬度、海拔相近,背景气候相似的阿科尔镇站作对比站。阿科尔镇是人口不足4×10⁴的乡镇,与首都努尔苏丹相比,可以看做是受城市化影响较小的地区。

对两地的年平均温做相关性分析以及周期对比分析。结果表明,年均气温的相关系数在0.01的置信度上大于0.5,两地气温之间相关性高达99.9%;阿科尔年平均气温在1973—2015年间存在与努尔苏丹相同第一、第二主周期,说明努尔苏丹和阿科尔气温变化具有同步性。因此,阿科尔站的气象数据可以作为研究努尔苏丹城市气候的背景资料。

2.3 研究方法

本文采用一元线性回归和七点二次平滑分析气温的整体变化趋势;采用Mann-Kendall非参数检验(M-K突变检验)和滑动*T*检验相结合明确气温突变开始的时间,指出突变区域;运用Matlab做小波分析,综合分析气温序列不同尺度周期变化以及在时间域中的分布[21-22]。

3 结果与分析

3.1 气温年际变化特征

图1是1973—2015年努尔苏丹年平均气温、中亚年平均气温以及北半球年平均气温的年际变化。由图1可以看出,20世纪70—90年代中期,努

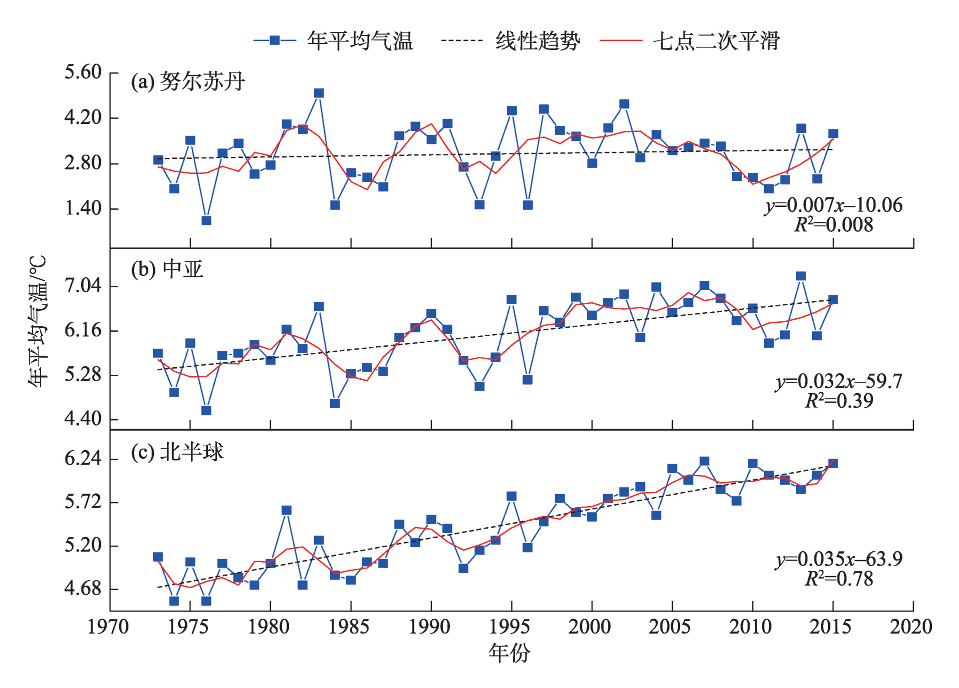


图1 1973—2015年努尔苏丹、中亚以及北半球年平均气温年际变化

Fig. 1 Variation of annual average temperature in Nur-Sultan, Central Asia and the Northern Hemisphere from 1973—2015

尔苏丹年平均气温变化趋势呈现“M”型变化特征，这与中亚和北半球年平均气温变化趋势基本一致。90年代中期至2015年，努尔苏丹年平均气温变化有一次明显的“下降-上升”，但整体处于平稳状态，而中亚年平均气温在同期呈现波动上升趋势，北半球则呈现持续上升趋势。努尔苏丹近年平均气温的线性拟合结果表明，努尔苏丹年平均气温以0.07 ℃·$(10a)^{-1}$的增温速率呈现弱增长趋势，增温速率远低于同期中亚地区0.32 ℃·$(10a)^{-1}$和北半球0.35 ℃·$(10a)^{-1}$的增温水平。

M-K突变检验是一种计算简便并且常用的突变检测方法[23]，但其检测结果中经常会出现多个相交点，由此产生虚假突变点。因此，一般会联用滑动*T*检验来剔除伪突变点，获得精确的突变时间。图2是努尔苏丹1973—2015年的年平均气温突变检测过程，由图2a可知，2个统计量曲线在临界线之间多次相交，但均未超过临界值，无法判断是否为真实突变点，所以结合图2b滑动*T*检验做剔除，发现年平均气温在2007年的*t*统计量通过了0.05水平显著性检验，由此可以判断努尔苏丹年平均气温在2007年开始了突变，M-K突变检验的其他交点为伪突变点。

采用Morlet小波变换对气温序列不同尺度的周期变化进行分析，结合图2c小波系数实部等值线图和图2d小波方差图可以得出，努尔苏丹近43 a的气温变化主要由3个周期波动控制，从大到小分别是35 a、22 a、15 a。但从图3c可以看出，这些周期变化都具有局部性，没能够占据整个研究时域。

虽然努尔苏丹近43 a来的年平均气温变化趋势不明显，但年平均最高气温、年平均最低气温以及气温日较差变化显著(0.05显著性水平)。如图3所示，年平均最高气温以0.42 ℃·$(10a)^{-1}$的增温速率呈波动上升趋势，气温的趋势走向与中亚地区和北半球年平均气温同期的趋势走向较为相似，增温速率也较为接近；年平均最低气温则以0.30 ℃·$(10a)^{-1}$的速率呈波动下降趋势。而气温日较差呈现波动上升趋势，上升速率为0.73 ℃·$(10a)^{-1}$。综上表明，受全球变化影响，近43 a来努尔苏丹年平均最高气温的上升和年均最低气温的降低呈现两极化加剧状态。

3.2 气温季节变化特征

对努尔苏丹逐日观测数据进行整理，获得月季尺度的四季气温数据。通过如图4、图5、图6可知，1973—2015年，努尔苏丹春季平均气温以

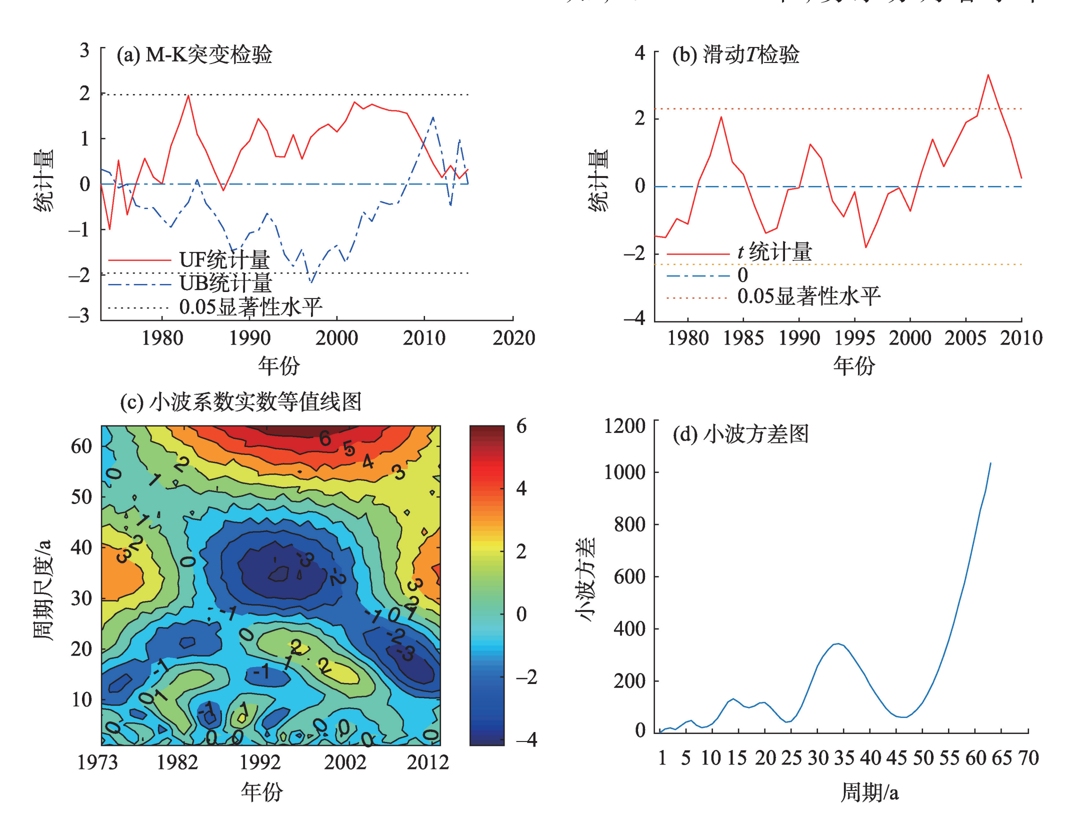


图2　1973—2015年努尔苏丹年均气温突变与周期分析

Fig. 2　Abrupt change and periodic analysis of annual mean temperature in Nur-Sultan from 1973 to 2015

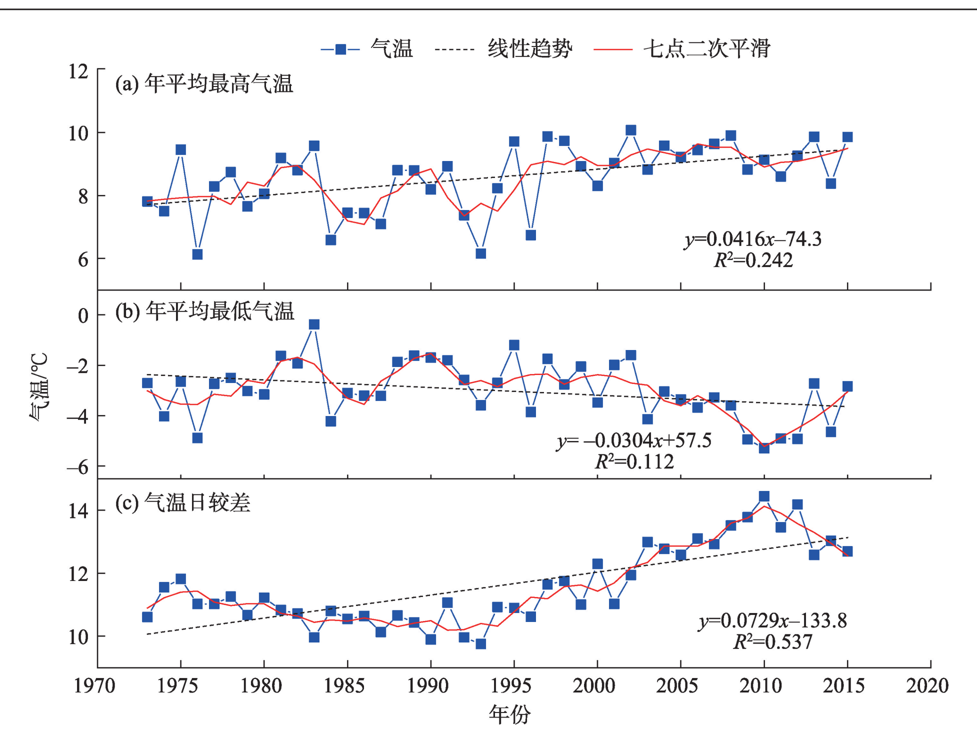


图3 1973—2015年努尔苏丹年平均最高气温、年平均最低气温、气温日较差年际变化

Fig. 3 Annual maximum temperature, annual minimum temperature and interannual temperature range in Nur-Sultan from 1973 to 2015

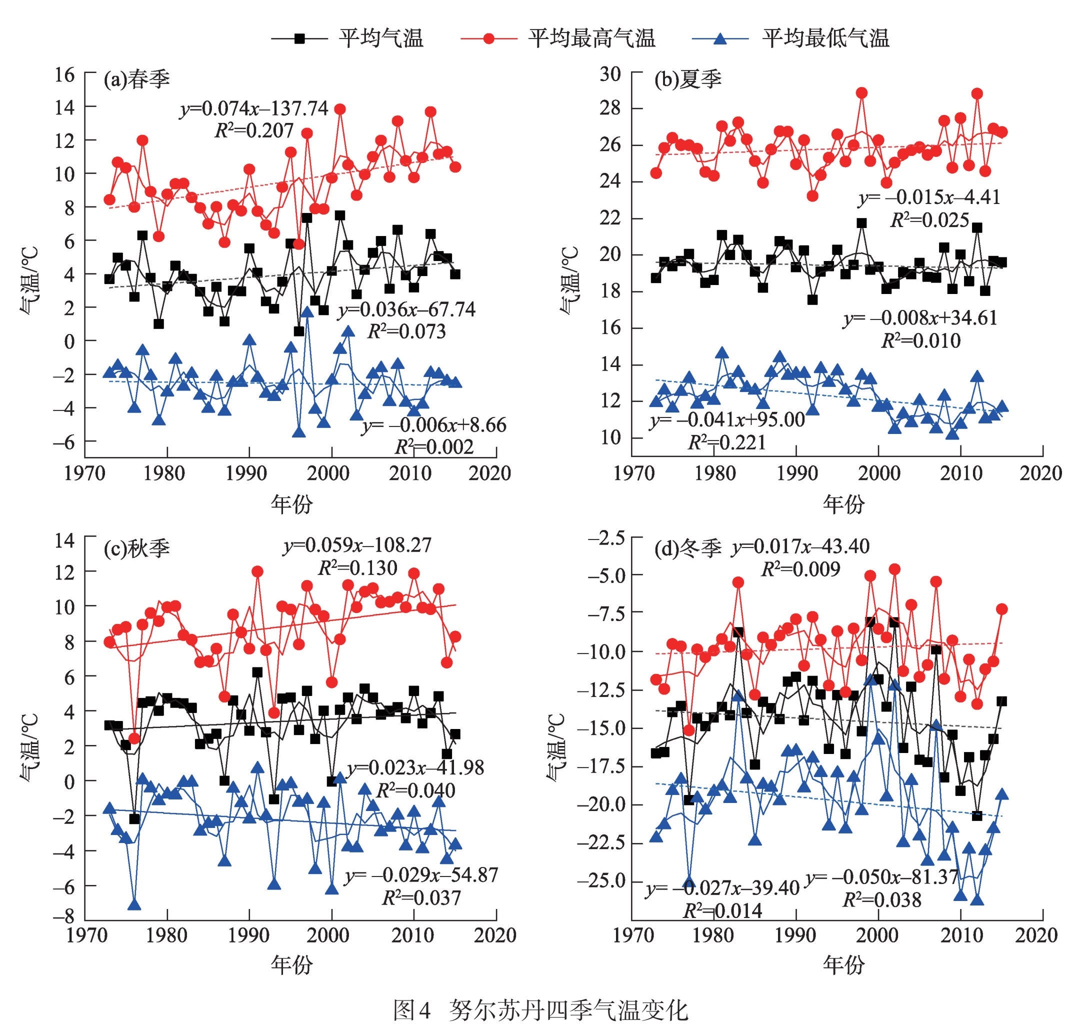


图4 努尔苏丹四季气温变化

Fig. 4 Seasonal temperature change in Nur-Sultan

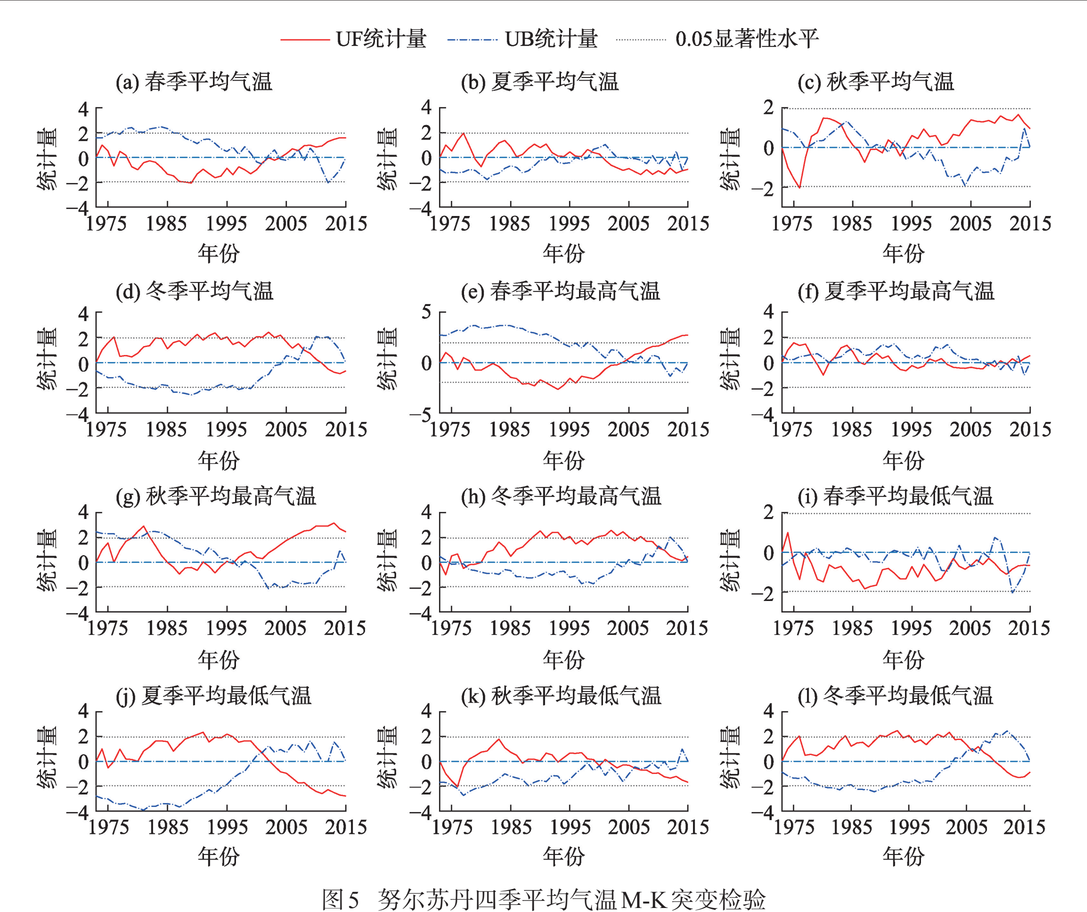


图5 努尔苏丹四季平均气温M-K突变检验

Fig. 5 M-K mutation test of seasonal temperature in Nur-Sultan

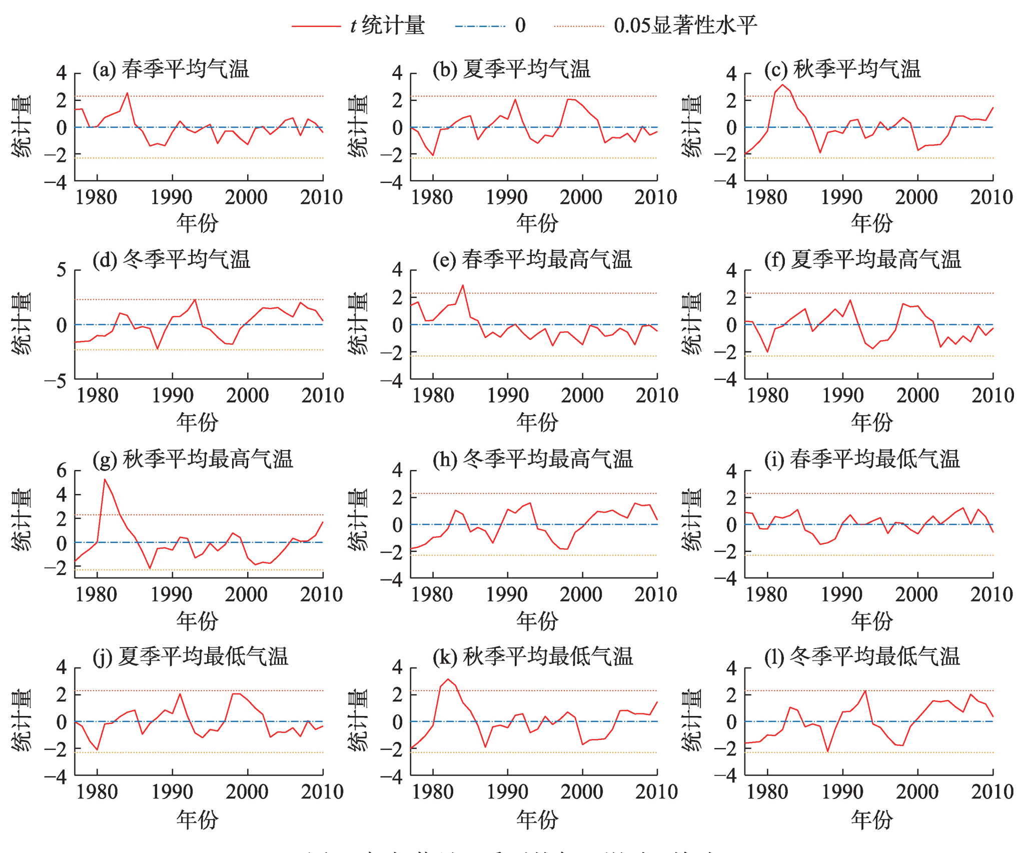


图6 努尔苏丹四季平均气温滑动 *T* 检验

Fig. 6 *T*-test of seasonal temperature slip in Nur-Sultan

0.36 ℃·(10a)$^{-1}$的速率上升，2001达到最大值7.5 ℃；春季平均最高气温上升速率达到0.74 ℃·(10a)$^{-1}$，并且在2001达到最高值13.8 ℃，气温显著升高发生在2012年后；春季平均最低气温变化趋势不显著。秋季平均气温和秋季平均最低气温虽有变化，但变化不显著。秋季平均最高气温以0.59 ℃·(10a)$^{-1}$的速率呈现波动上升趋势，最大值12.0 ℃出现在1991年，而从2005年开始，上升速率达到0.05水平上的显著。夏季平均最低气温在2001年发生突变，2002年开始下降，2008年后在0.05水平上达到显著，整体上呈现以0.41 ℃·(10a)$^{-1}$的显著下降趋势。夏季平均最高气温和夏季平均气温变化都不显著(0.05显著性水平)。冬季平均气温和冬季平均最低气温皆有下降趋势，并且在2012年分别达到−20.7 ℃和−26.3 ℃的最低值；冬季平均最高气温呈现上升趋势，在1997年达到最低值−15.2 ℃，但3个气温变化均不显著。

3.3 城市热(冷)岛效应

城市热岛效应简单来说就是城市市区的温度明显高于郊区的现象。城市冷岛效应则是指城市市区温度低于郊区温度，而通常用城区温度和郊区温度的差值表示热岛强度[24–25]。本文用努尔苏丹和阿科尔月平均气温差表示努尔苏丹的热(冷)岛强度。

图7a是努尔苏丹城市热岛强度年平均变化图，根据平滑曲线可以看出，努尔苏丹近43 a城市热岛强度呈现先增强，后减弱的趋势。线性趋势线表明，热岛强度呈现显著减弱趋势，减弱速率达到0.14 ℃·(10a)$^{-1}$。由图7b和图7c可知，努尔苏丹热岛强度从20世纪70年代末期开始增强，到1983年左右热岛强度的增强程度通过0.05水平的显著性检验，但到20世纪90年代末，增强趋势开始不明显；到2005年左右，热岛强度发生突变，并且在2005年后热岛强度开始减弱，2010年左右，减弱趋势达到显著(0.05显著性水平)。

努尔苏丹热岛强度季节变化的分析结果表明(图8)，1973—2015年，努尔苏丹四季热岛强度皆呈波动递减趋势，其中夏、春、秋三季递减趋势均不显著，而冬季平均热岛强度减弱趋势在0.01水平下呈现极显著，减弱速率达到0.29 ℃·(10a)$^{-1}$，并且冬季气温在2004年后多次出现冷岛效应。进一步对冬季平均热岛强度做突变检验(图7e~f)表明，冬季平均热岛强度开始减弱以及减弱达到显著性的时间与年平均热岛强度基本一致，分别在2005年开始减弱，2010年后减弱达到显著(0.05显著性水平)。对冬季热岛强度与年平均热岛强度做相关性分析(图9a)发现，两者具有极强的相关性。由此得出，努尔苏丹城市热岛强度呈显著减弱趋势主要是受冬季热岛强度显著减弱影响，而为了研究冬季热岛强度减弱与对照站的关系，对阿科尔冬季平均气温和努尔苏丹冬季平均气温进行对比分析(图7d)，结果表明，近43 a来，努尔苏丹冬季年平均气温变化不显著，呈现弱递减趋势；阿科尔站冬季年平均气温呈现弱增长趋势。2005年开始，努尔苏丹冬季年平均气温递减速率有所降低，但由于阿科尔站冬季年平均气温的弱增长速率增长较快，从而导致与努尔苏丹冬季的气温差值变小，甚至为负。因此，努尔苏丹冬季热岛强度的减弱与努尔苏丹冬季年平均气温呈现弱减弱趋势以及阿科尔冬季年平均气温呈现弱增长趋势共同相关，但在2004年后出现冷岛效应，主要是由于对照站气温增长趋势加快造成。

热岛效应与城市发展具有很强的相关性。Oke在1973年首次提出，热岛效应与以人口衡量的城市规模之间具有相关性[26]；Fukuoka等[27]的研究表明，热岛强度与人口之间存在线性关系；季崇平等[28]学者研究发现，热岛强度和人口总数的对数呈线性相关关系。前文分析表明，在努尔苏丹城市发展的不同时期，热岛强度有所差异，这是否与努尔苏丹城市化进程有关？为此，本文收集了努尔苏丹1998—2015年城市总人口数，并与同期努尔苏丹城市年热岛强度做了Kendall相关性分析(图9a)。结果表明，只有冬季平均热岛强度与人口之间存在显著的负相关性，进一步对人口增长做突变检验(图9b)发现，从2001年开始，努尔苏丹市人口显著增长，2003年增长达到极显著(0.01显著性水平)，考虑到人口增长对环境的影响具有滞后性，努尔苏丹冬季出现冷岛效应与城市发展有一定的关联。

4 讨 论

城市冷岛效应的形成受天气过程、城市排放的烟尘、城市绿化等因素的影响[29–30]。人类改变全球气候的主要方式是通过改变大气成分来干扰自然的能量流动[31]。人口增长不可避免导致能源的快速消耗和交通工具数量的增加，进而影响城市的大

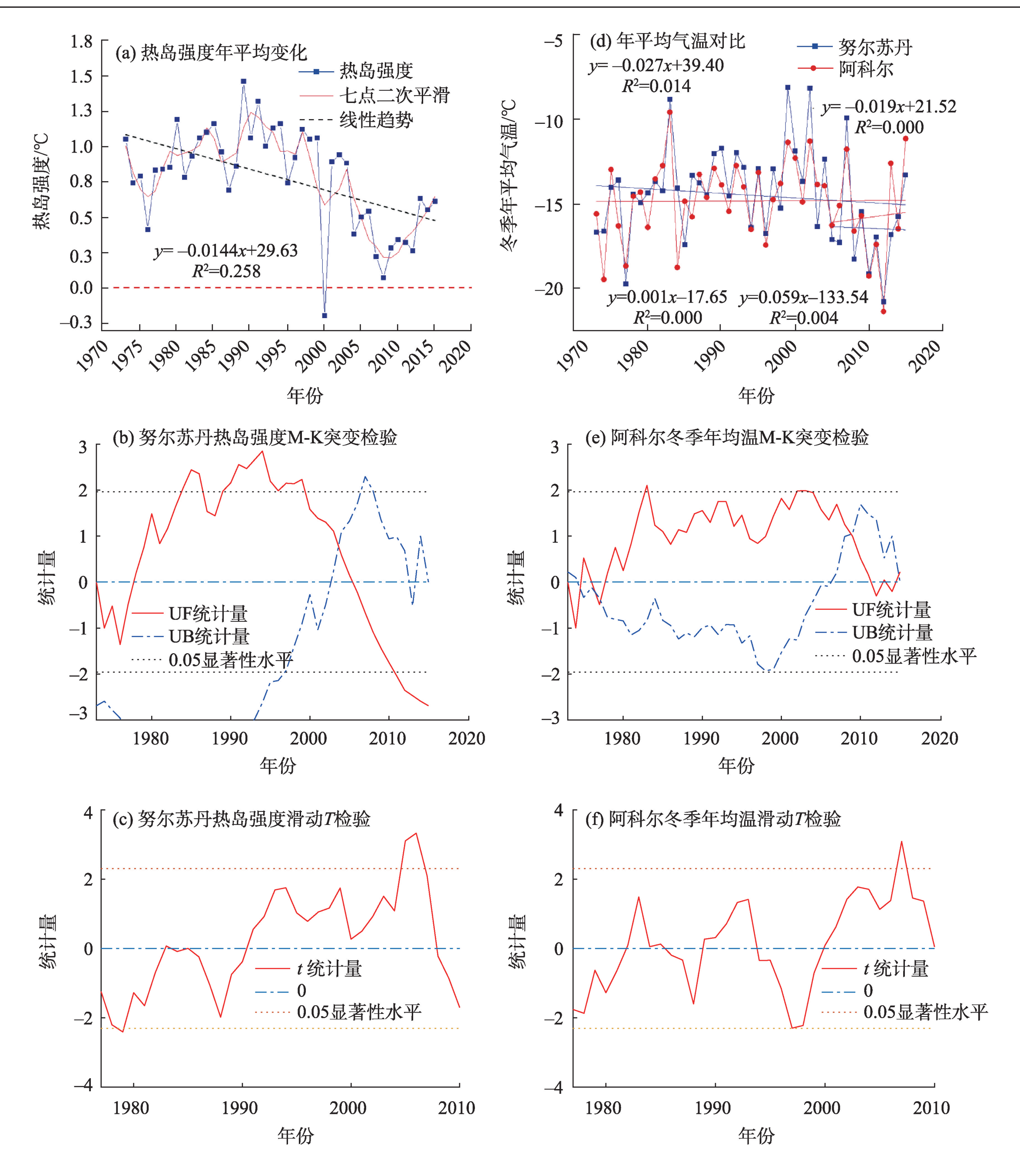


图7 努尔苏丹热岛强度变化分析

Fig. 7 Analysis of intensity variation of Nur-Sultan heat island

气成分[16,32-33]。努尔苏丹供暖期长达6个月，并且城市发电和供热的主要燃料是煤[11]。2000—2015年，努尔苏丹城市燃料和能源使用量增加了近6倍，机动车维修服务销售量增加了近70倍，并且经过相关性检验，两者都与努尔苏丹冬季平均热岛强度呈现显著负相关。从2006年起，努尔苏丹大气总悬浮颗粒物（TSP）含量高于哈萨克斯坦国家TSP浓度标准，冬季PM_{10}浓度高于春、夏、秋季[11]。再加上努尔苏丹冬季气温低，易出现逆温层，可加剧大气污染物的积累，影响到达地面的太阳辐射[28-29]。因此推测，城市发展过程中空气污染状况的加剧也是使努尔苏丹冬季热岛强度减弱以及出现冷岛效应的原因之一。

有关研究结果表明，当城市林地面积大于12 hm^2后，绿地的冷岛效应会随着绿地面积的增加而不断加强[34]，面积超过100 hm^2的林地降温效果更显著[35]。Manoli等[36]的研究表明，通过增加地表绿色植被覆盖缓解城市热岛效应的措施，在干旱区更为有效。哈萨克斯坦在1997年将首都迁到努尔苏丹后，大力建设“首都圈绿环工程”，在原有2880×

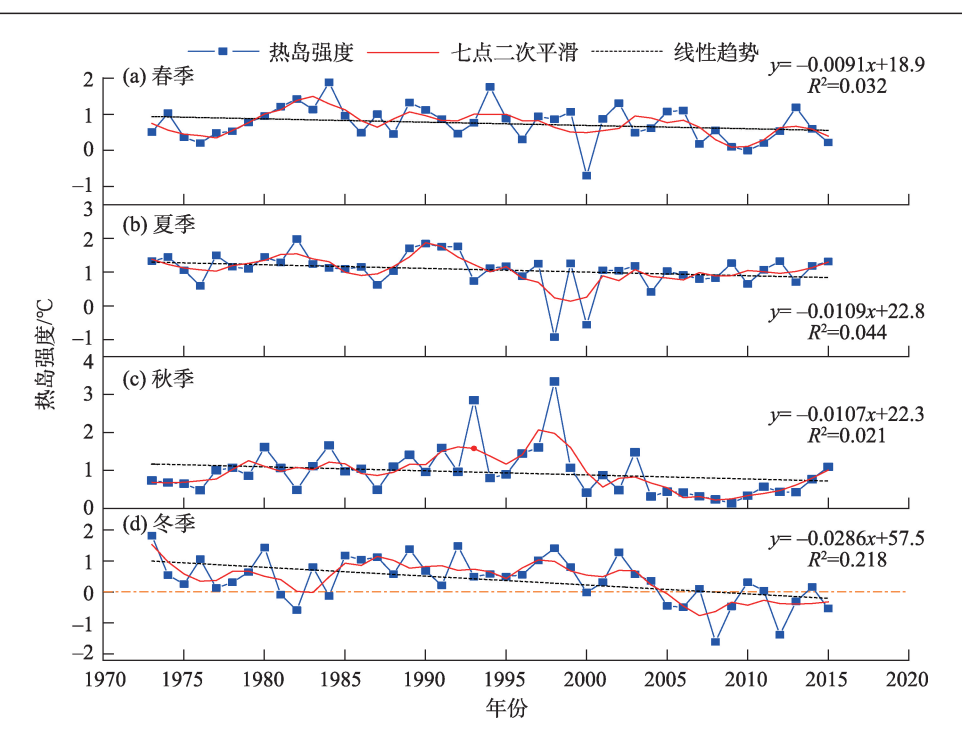
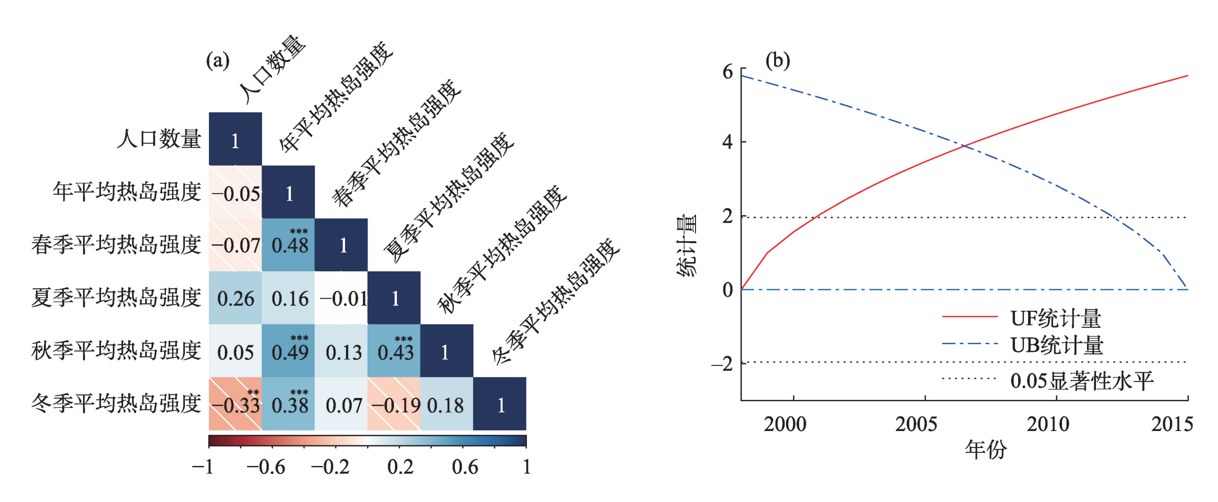


图8　努尔苏丹四季热岛强度年均变化

Fig. 8　Seasonal heat island intensity varies annually in Nur-Sultan



注：**表示0.05显著性水平；***表示0.01显著性水平。

图9　热岛强度与人口的相关系数(a)及人口数量突变检验(b)

Fig. 9　Correlation coefficient between heat island intensity and population(a), and mutation test of population size(b)

10^4 hm^{2}森林的基础上加大城市内部与周边植被植被种植，至2006年“绿环工程”种植面积达4.7×10^4 hm^2，并且计划每年以一定比例持续扩建[17]。因此，不能排除努尔苏丹热岛强度的减弱与“绿环工程”降温作用相关，但这还需要进一步验证。

5　结　论

（1）努尔苏丹年平均气温在同期北半球和中亚地区气温显著增长的大背景下，并无显著变化，但年平均最高、最低气温以及气温日较差变化显著，气温受全球变化的影响主要表现在两极化加剧上。

（2）努尔苏丹年平均热岛强度呈现显著减弱趋势主要受冬季热岛强度减弱的影响。而冬季热岛强度的减弱，与努尔苏丹冬季年平均气温呈现弱减小趋势以及阿科尔冬季年平均呈现弱增长趋势气温共同相关，但在2004年后出现冷岛效应，主要是由于对照站气温增长趋势加快造成。由此可见，热

岛效应对比站的选择对热岛效应的结果有很大影响，在数据充足的情况下，需要选择尽可能多的对比站来消除其自身变化对结果的影响。

（3）努尔苏丹冬季热岛强度的减弱与城市发展有一定的关联。努尔苏丹1998—2015年人口数量与同期冬季热岛强度呈显著负相关；2000—2015年城市燃料和能源使用量、机动车维修服务销售量也分别与冬季热岛强度呈显著负相关。作为一个以煤为主要燃料的城市，城市发展所引发的空气污染状况的加剧，可能也是努尔苏丹冬季在2005年后多次出现冷岛效应的原因之一。

参考文献(References)

[1] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001[J]. Journal of Climate, 2003, 16(2): 206-223.

[2] Jones P D, New M, Parker D E, et al. Surface air temperature and its changes over the past 150 years[J]. Reviews of Geophysics, 1999, 37(2): 173.

[3] IPCC. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability, part A: Global and sectoral aspects[R]. Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014.

[4] IPCC Climate change 2007: The physical science basis[R]. Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.

[5] 王宝强, 李萍萍, 沈清基, 等. 上海城市化对局地气候变化的胁迫效应及主要影响因素研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(9): 107-115. [Wang Baoqiang, Li Pingping, Shen Qingji, et al. Research on the stressed effect of urbanization on local climate change and main influencing factors in Shanghai[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(9): 107-115.]

[6] 赵守栋, 王京凡, 何新, 等. 城市化对气候变化的影响及其反馈机制研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(1): 66-72. [Zhao Shoudong, Wang Jingfan, He Xin, et al. Effects of urbnization on climate change and related retroaction mechannisms[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2014, 50(1): 66-72.]

[7] Huang J P, Yu H P, Guan X D, et al. Accelerated dryland expansion under climate change[J]. Nature Climate Change, 2016, 6(2): 166-171.

[8] Yacher L. Astana, Kazakhstan: Megadream, megacity, megadestiny?[M]. Netherlands: Springer, 2011: 1001-1020.

[9] 李亚飞, 王磊斌, 毛慧琴, 等. 使用岭回归对哈萨克斯坦月平均气温的统计降尺度研究[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(5): 567-576. [Li Yafei, Wang Leibin, Mao Huiqin, et al. Statistical downscaling of monthly mean temperature for Kazakhstan using ridge regression[J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 21(5): 567-576.]

[10] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 中亚（五国）干旱生态地理环境特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(1): 1-12. [Hu Ruji, Jiang Fengqing, Wang Yajun, et al. Arid ecological and geographical conditions in five countries of Central Asia[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(1): 1-12.]

[11] Aiymgul K, Aidyn B, Yerbol S, et al. Air pollution in Astana: Analysis of recent trends and air quality monitoring system[J]. Materials Today Proceedings, 2018(5): 22749-22758.

[12] Petrova Y, Skakova A, Salnikov V, et al. Climate change in Kazakhstan during the past 70 years[J]. Quaternary International, 2015, 358(9): 77-82.

[13] 迪丽努尔·托列吾别克, 李栋梁. 近115 a中亚干湿气候变化研究[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 185-195. [Dlnur Tolbak, Li Dongliang. Characteristics of the dry/wet climate change in Central Asia in recent 115 years[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(2): 185-195.]

[14] 韩其飞, 罗格平, 白洁, 等. 基于多期数据集的中亚五国土地利用／覆盖变化分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6): 909-918. [Han Qifei, Luo Geping, Bai Jie, et al. Characteristics of land use and cover change in Central Asia in recent 30 years[J]. 2012, 35(6): 909-918.]

[15] 徐婷, 邵华, 张弛. 近32 a中亚地区气温时空格局分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(1): 25-35. [Xu Ting, Shao Hua, Zhang Chi. Temporal pattern analysis of air temperature change in Central Asia during 1980—2011[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(1): 25-35.]

[16] Alexander C, Alexander C, Vilesov E N, et al. Climate change in the city of Almaty during the past 120 years[J]. Quaternary International, 2015.

[17] Ilyassova A, Kantakumar L N, Boyd D. Urban growth analysis and simulations using cellular automata and geo-informatics: Comparison between Almaty and Astana in Kazakhstan[J]. Geocarto International, 2019, 1-20.

[18] Кабанова, Svetlana K, Рахимжанов, et al. The creation of green zone of Astana City: History, current state and prospects[J]. Forestry Engineering Journal, 2017, 6(2): 16-22.

[19] 王劲松, 陈发虎, 张强, 等. 亚洲中部干旱半干旱区近100年来的气温变化研究[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1035-1045. [Wang Jinsong, Chen Fahu, Zhang Qiang, et al. Temperature variations in arid and semi-arid areas in middle part of Asia during the last 100 years[J]. Plateau Meteorology, 2008, 27(5): 1035-1045.]

[20] 王丽娟. 郑州市50年来的气候变化及城市化对其贡献率[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2010. [Wang Lijuan. Climate change and contribution ratio of urbanization in Zhengzhou City for recent 5 years[D]. Wuhu: Anhui Normal University, 2010.]

[21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社,

1999. [Wei Fengying. Modern climate statistical diagnosis and prediction techniques[M]. Beijing: Meteorological Press, 1999.]
[22] 秦前清, 杨宗凯. 实用小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994. [Qin Qianqing, Yang Zongkai. Practical wavelet analysis[M]. Xi'an: Xidian University Press, 1994.]
[23] 张音, 古丽贤·吐尔逊拜, 苏里坦, 等. 近60 a来新疆不同海拔气候变化的时空特征分析[J].干旱区地理, 2019, 42(4): 822-829. [Zhang Yin, Tuersunbai Gulixian, Su Litan, et al. Spatial and temporal characteristics of climate change at different altitudes in Xinjiang in the past 60 years[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(4): 822-829.]
[24] 郑思轶, 刘树华. 北京城市化发展对温度, 相对湿度和降水的影响[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 123-133. [Zheng Siyi, Liu Shuhua. Urbanization effect on climate in Beijing[J]. Climatic and Environmental Research, 2008, 13(2): 123-133.]
[25] 赵娜, 刘树华, 虞海燕. 近48年城市化发展对北京区域气候的影响分析[J]. 大气科学, 2011, 35(2): 373-385. [Zhao Na, Liu Shuhua, Yu Haiyan. Urbanization effects on local climate in Beijing in recent 48 years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2011, 35(2): 373-385.]
[26] Oke T R. City size and the urban heat island[J]. Atmospheric Environment, 1973, 7(8): 769-779.
[27] Fukuoka Y. Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature[J]. Memories of the Faculty of Integrated Arts & Sciences, 1983: 157-178.
[28] 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报, 2006(1): 72-80. [Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. Impact of urban growth on the heat island in Beijing[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006(1): 72-80.]
[29] 刘万军. 城市"冷岛"效应[J].气象与环境学报, 1991(3): 27-29. [Liu Wanjun. The urban "cold island" effect[J]. Journal of Meteorology and Environment, 1991(3): 27-29.]
[30] 李珍, 姜逢清, 胡汝骥, 等. 1961—2004年乌鲁木齐城市化过程中的冷化效应[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 73-81. [Li Zhen, Jiang Fengqing, Hu Ruji, et al. Cooling effect in the process of urbanization in Urumqi from 1961—2004[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(2): 73-81.]
[31] Karl T R. Modern global climate change[J]. Science, 2003, 302 (5651): 1719-1723.
[32] 李珊珊. 北京市热环境变化与空气质量分析研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2009. [Li Shanshan. Analysis on urban heat island and air quality[D]. Beijing: The Capital Normal University, 2009.]
[33] 王建凯, 王开存, 王普才. 基于MODIS地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. 遥感学报, 2007(3): 330-339. [Wang Jiankai, Wang Kaicun, Wang Pucai. Urban heat (or cool) island over Beijing from MODIS land surface temperature[J]. Journal of Remote Sensing, 2007(3): 330-339.]
[34] Lu J, Li C D, Yang Y C, et al. Quantitative evaluation of urban park cool island factors in mountain city[J]. Journal of Central South University of Technology, 2012, 19(6): 1657-1662.
[35] 贾宝全, 仇宽彪. 北京市平原百万亩大造林工程降温效应及其价值的遥感分析[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 726-735. [Jia Baoquan, Qiu Kuanbiao. The cooling effect of plain afforestation in the Beijing project and its remote sensing-based evaluation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3): 726-735.]
[36] Manoli G, Fatichi S, Schläpfer M, et al. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population[J]. Nature, 2019, 573: 55-60.

Temperature variation and urban heat island effect in Nur-Sultan during 1973 to 2015

Akida ASKAR[1,2], Talgat ABZHANOV[3], WANG Yongdong[1],
ZHAO Yongcheng[1], LEI Jiaqiang[1]
（1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;
3. Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nursultan 010000, Kazakhstan）

Abstract: Nur-Sultan is the capital of Kazakhstan, located in the arid and semi-arid grassland areas of northern Kazakhstan. The city has a harsh climate and is one of the coldest capitals in the world. Nur-Sultan has developed rapidly from a small town with fewer than 40000 people to an international metropolis with a population of one million. In the context of global climate change, the arid zone is one of the most sensitive areas to climate change and human activities. An investigation of the temperature changes and urban heat island effect in Nur-Sultan can be used to examine the impact of urbanization on urban climate change in arid regions. Moreover, typical cases and research results can provide a scientific basis for the future urban construction of Nur-Sultan and develop strategies to adapt to climate change. On the other hand, although most studies investigated the climate change and national development status of Central Asia or Kazakhstan, there are few reports on the effects of climate change and urban heat islands before and after the relocation of Nur-Sultan. This study is based on the daily temperature data of Nur-Sultan City and Akkol Town from 1973 to 2015, and the urban development data of Nur-Sultan City from 2000 to 2015. Regression analysis, seven-point quadratic smoothing, sliding *T*-test, Mann-Kendall mutation test, Morlet wavelet analysis, and other methods were used to study the characteristics and causes of the regional temperature changes and the urban heat island intensity. The results showed that the annual average temperature of Nur-Sultan did not change significantly under the background of a significant increase in temperature of the Northern Hemisphere and Central Asia during the same period, but there were significant changes in the annual average maximum, minimum temperature, and daily temperature range. Moreover, the impact of temperature changes under globalization was manifested mainly in the increased polarization. The annual average heat island intensity of Nur-Sultan showed a significant weakening trend because of the weakening of the winter heat island intensity. In contrast, the weakening of the winter heat island intensity was affected mainly by the change in winter temperature at the comparison station. This was attributed to the urban development of Nur-Sultan.

Key words: arid land; temperature change; heat island intensity; cold island effect; Nur-Sultan